

УДК 621.384.327

**Є. П. Тимофеев**, канд.техн.наук  
 Національний науковий центр "Інститут метрології",  
 Україна, м. Харків, вул. Мироносицька, 42  
 тел.: (+38 057) 704 97 50,  
 e-mail: [timofeev@metrology.kharkov.ua](mailto:timofeev@metrology.kharkov.ua)

## **КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЛАЗЕРОМЕТРІЇ**

**Вступ.** Сфери світлотехніки та енергетичної лазерометрії тісно пов'язані через нинішнє визначення базового блоку сили світла – кандели.

Специфіка розвитку енергетичної лазерометрії в Україні пов'язана з тим, що у середині 90-х років в Україні склалася критична ситуація з метрологічним забезпеченням вимірювань потужності та енергії лазерного випромінювання. У країні фізично були відсутні еталони в області енергетичної лазерометрії. Стала актуальною необхідність розробки в Україні еталонної бази у зазначеній галузі.

Досвід побудови системи метрологічного забезпечення інших країн не може бути застосований у повному обсязі конкретно для України через відмінності специфіки ситуації, що склалася в країні в науці, промисловості, в усіх галузях господарства, тому розвиток єдності вимірювань енергетичних параметрів лазерного випромінювання є не науковим завданням, а науковою проблемою.

Для вирішення даної проблеми необхідно на основі проведеного порівняльного аналізу лазерної метрологічної бази ряду розвинених країн (США, Німеччини, Росії) розробити нову повірочну схему для засобів вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання в Україні, розробити обґрунтовану концепцію створення в Україні першочергової еталонної бази для засобів вимірювань енергетичних параметрів лазерного випромінювання у сфері енергетичної лазерометрії.

**Основна частина.** Аналіз концепції побудови системи забезпечення єдності вимірювань енергетичних характеристик лазерного випромінювання у розвинених країнах світу показує, що, в основному, будується централізована структура, підпорядкована єдиному первинному еталону, створеному на базі криогенного радіометра або на базі калориметра. Переваги криогенного радіометра очевидні, але, враховуючи його енергетичний робочий діапазон, при передачі одиниці в область середніх і тим більше великих рівнів, відбувається природне накопичення похибки. У результаті, як показують проведені порівняльні оцінки, точнісні характеристики еталонів при таких енергетичних рівнях відрізняються незначно. Враховуючи накопичення похибки при передачі одиниці в інший енергетичний діапазон, доцільно і виправдано запропонувати концепцію побудови окремих незалежних еталонів для великих, середніх і малих енергетичних рівнів, прив'язаних безпосередньо до еталонів електричних одиниць. Якщо розглянути рівняння енергетичного балансу абсолютного радіометра калориметричного типу, то можна довести принципову неможливість створення точного калориметра, працюючого одночасно в діапазоні великих, середніх і малих енергетичних рівнів, отже, наша концепція з розробки окремих еталонів у зазначених енергетичних діапазонах виправдана.

Структуру побудови еталонної бази у сфері вимірювання енергетичних

характеристик лазерного випромінювання представлено на рисунку 1. Концепція передбачає не тільки послідовну побудову окремих незалежних еталонів для великих, середніх і малих енергетичних рівнів, але й подальшу їхню модернізацію з метою поліпшення метрологічних характеристик цих еталонів. Ураховуючи темпи розвитку ЗВТ у сфері вимірювань енергетичних характеристик лазерного випромінювання, а також постійну тенденцію до поліпшення їхніх точнісних характеристик, період модернізації еталона не повинен перевищувати п'ятнадцяти років.

При створенні еталонів для великих і середніх рівнів оптимально як ЕПВП використовувати абсолютний радіометр калориметричного типу, який, використовуючи метод заміщення, буде безпосередньо прив'язуватися до еталонна електричних величин. Це можна стверджувати і для еталона в області малих рівнів. При цьому необхідно відзначити значний прогрес у розвитку квантових приладів зі 100% внутрішньою квантовою ефективністю. Так само не можна не відзначити перспективну тенденцію з розвитку квантової метрології. У недалекій перспективі еталони надмалих енергетичних рівнів будуть будуватися на базовому принципі підрахунку окремих фотонів.

Враховуючи все вищесказане, а також результати попереднього поведеного аналізу, запропоновано систему забезпечення єдності вимірювань енергетичних характеристик лазерного випромінювання України будувати на основі незалежних еталонів для великих, середніх і малих енергетичних рівнів, відповідно зі своїми незалежними повірочними схемами. При цьому, враховуючи оцінки загальної кількості ЗВТ України в сфері вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання, з метою оптимізації повірочної схеми необхідно передбачити можливість проведення перевірки робочих ЗВТ безпосередньо на державному еталоні.

Концепція передбачає не тільки послідовну побудову окремих незалежних еталонів, а також за рахунок цього оптимізацію схем передавання розміру одиниць фізичних величин від еталонів до робочих засобів вимірювань з метою спрощення їхньої структури, скорочення кількості ланок і ступенів.

За результатами проведеного попереднього аналізу можна стверджувати що:

- найбільш затребувані ЗВТ, які дозволяють вимірювати потужність і енергію лазерного випромінювання в динамічному діапазоні від  $10^{-3}$  до 1 Вт і Дж відповідно (близько 95% аналізованих ЗВТ);

- не менше 65% ЗВТ мають робочий спектральний діапазон ширший, ніж діапазон 0,4-4 мкм, і всі 100% ЗВТ потрапляють у спектральний діапазон 0,3-12 мкм.

З огляду на метрологічні характеристики ЗВТ України у сфері вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання і практичну відсутність еталонної бази у цій галузі, найбільш актуальним є створення еталона для середніх енергетичних рівнів лазерного випромінювання в діапазоні від 1 Вт до  $10^{-4}$  Вт. Потім потрібно послідовно проводити створення еталонів у сфері великих і малих енергетичних рівнів лазерного випромінювання. Тобто необхідно провести спрямований синтез незалежних еталонів у сфері вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання.

У рамках запропонованої концепції побудови еталонної бази України у сфері вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання для підвищення точності відтворення і вимірювань енергетичних характеристик лазерного випромінювання при побудові державного первинного еталона нами використаний комплексний підхід, який включав як традиційні методи і способи, що застосовуються на еталонах інших країн, так використані й застосовані нами вперше.

Так, при розробці і створенні державного первинного еталона середньої потужності та енергії лазерного випромінювання за основу взято традиційну схему

побудови еталона.

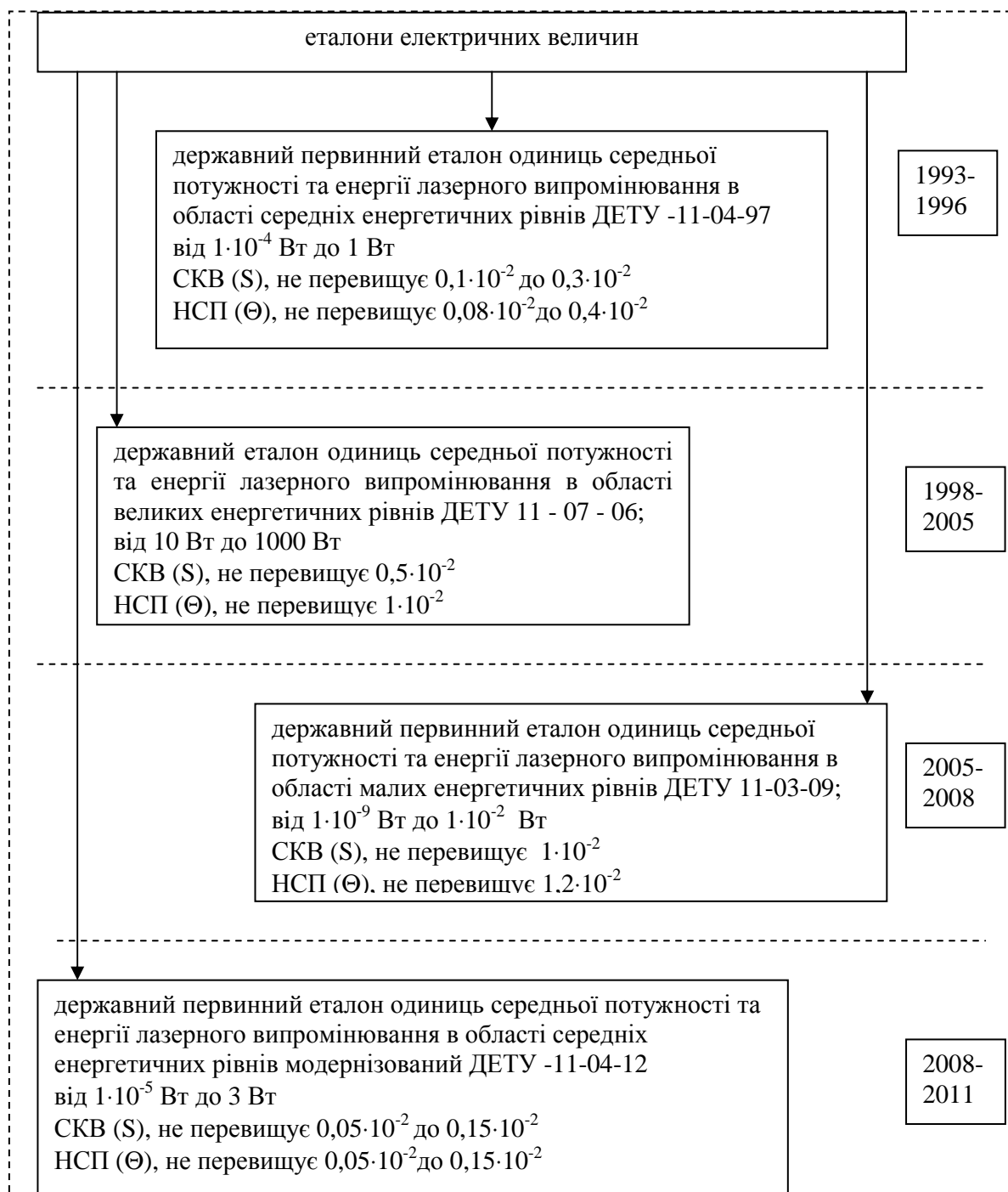


Рис. 1 – Структура побудови еталонної бази України у сфері вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання

Нами застосовано метод направленої синтезу – в період з 1993 по 1997 роки був створений державний первинний еталон середньої потужності та енергії лазерного випромінювання із застосуванням традиційної схеми його побудови. Далі для забезпечення високоточного вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання великих рівнів був розроблений державний первинний еталон середньої потужності та енергії лазерного випромінювання великих рівнів ДЕТУ 11-07-06. Еталон створено і досліджено у період з 4 кв. 1998 р. до 4 кв. 2005 р. Структура і

побудова державного первинного еталона середньої потужності та енергії лазерного випромінювання великих рівнів аналогічній структурі та побудові державного первинного еталона середньої потужності та енергії лазерного випромінювання еталона ДЕТУ-11-04-97.

Для забезпечення високоточного вимірювання енергетичних характеристик лазерного випромінювання малих рівнів був розроблений державний первинний еталон одиниці потужності слабких імпульсних світлових потоків випромінювання від  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт у діапазоні довжин хвиль від 0,4 до 1,6 мкм ДЕТУ 11-03-96. Еталон був удосконалений і досліджений у період з 4 кв. 2005 р. по 4 кв. 2008 р. Після модернізації еталон перейменовано у Державний первинний еталон одиниць середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловод ДЕТУ 11-03-09.

Подальші дослідження результатів впровадження такої концепції довели правильність прийнятого рішення.

### **Висновки**

На основі проведеного порівняльного аналізу стану еталонної бази і способів вирішення задачі забезпечення єдності вимірювань середньої потужності та енергії лазерного випромінювання в розвинених країнах світу вперше розроблена обґрунтована концепція створення в Україні першочергової еталонної та повірочної бази для засобів вимірювань енергетичних параметрів лазерного випромінювання на основі послідовного синтезу незалежних еталонів.

Практичне значення одержаних результатів визначається тим, що створені й впроваджені в метрологічну практику державний первинний еталон одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання в галузі середніх енергетичних рівнів ДЕТУ 11-04-97, державний еталон одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання в галузі великих енергетичних рівнів ДЕТУ 11-07-06, державний первинний еталон одиниць середньої потужності та енергії лазерного випромінювання в галузі малих енергетичних рівнів ДЕТУ 11-03-09.

Вирішено важливу науково-прикладну проблему забезпечення єдності вимірювання енергетичних параметрів лазерного випромінювання шляхом створення сучасної системи відтворення і передавання одиниць потужності та енергії лазерного випромінювання і її впровадження в метрологічну практику України.

Проведені роботи показують також перспективи розвитку метрологічного забезпечення в галузі світлотехніки, враховуючи визначення основної одиниці – Канделі.

---

---

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ УКРАИНЫ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРОМЕТРИИ**

**Е. П. Тимофеев**

*Приведена концепция построения эталонной базы Украины в сфере обеспечения единства измерения энергетических характеристик лазерного излучения.*

## **THE CONCEPT OF BUILDING A REFERENCE BASE OF UKRAINE IN THE SPHERE OF ENERGY LAZEROMETRII**

**E. P. Timofeev**

*Presented the concept of building a reference base of Ukraine in the sphere of ensuring the measurement of energy characteristics of the laser radiation.*